

D'une innovation en réponse à un besoin interne à la conquête d'un marché en émergence

par

■ **Bruno Bernard** ■

Ancien CEO, Fives Michelin Additive Solutions / AddUp

En bref

Sous l'impulsion visionnaire de certains acteurs de la direction industrielle de Michelin chargés de la fabrication des moules destinés à la fabrication des pneus, le Groupe s'est initié très tôt à la technologie de la fabrication additive métallique. De proche en proche, il a réussi, en dix ans, à maîtriser totalement la mise en œuvre de cette technologie dans la production, prenant ainsi une avance déterminante sur ses concurrents. Parallèlement, la technologie d'impression 3D développée en interne a été sélectionnée au titre d'un programme de diversification du Groupe. Une joint-venture a été lancée en 2015 avec la société française Fives, puis la société AddUp a été créée en 2016 avec deux actionnaires à 50%. Les défis à relever sont cependant nombreux, dans un marché en pleine effervescence et au développement rapide, où se confrontent acteurs établis et nouveaux entrants dans une course à la recherche des meilleures technologies susceptibles de faire l'objet d'une diffusion industrielle à grande échelle.

Compte rendu rédigé par Élisabeth Bourguinat

L'Association des Amis de l'École de Paris du management organise des débats et en diffuse les comptes rendus, les idées restant de la seule responsabilité de leurs auteurs. Elle peut également diffuser les commentaires que suscitent ces documents.

Le séminaire Management de l'innovation est organisé avec le soutien de la Direction générale des entreprises (ministère de l'Économie et des Finances) et grâce aux parrains de l'École de Paris (liste au 1^{er} juillet 2018) :

Algoé¹ • Caisse des dépôts et consignations • Carewan¹ • Conseil régional d'Île-de-France • Danone • EDF • Else & Bang • ENGIE • FABERNOVEL • Fondation Roger Godino • Groupe BPCE • Groupe OCP • HRA Pharma² • IdVectoR² • IPAG Business School • La Fabrique de l'industrie • Mairie de Paris • MINES ParisTech • Ministère de l'Économie et des Finances – DGE • Renault-Nissan Consulting • RATP • SNCF • UIMM • Ylios¹

1. pour le séminaire Vie des affaires
2. pour le séminaire Ressources technologiques et innovation

Après avoir œuvré au service de l'État au sein du ministère de l'Industrie, puis du cabinet du Premier ministre Édith Cresson, j'ai travaillé pendant dix ans pour le Crédit Lyonnais. Ensuite, pendant cinq ans, je me suis occupé de la transformation du groupe Safran auprès de Jean-Paul Herteman. Il s'agissait essentiellement de déployer des méthodes d'amélioration continue et de mener quelques projets structurants. J'ai par la suite dirigé la filiale de services en ingénierie aéronautique de Safran, qui propose des prestations aux clients souhaitant développer eux-mêmes leurs produits.

En 2015, j'ai quitté ce groupe pour prendre la tête de la joint-venture Fives Michelin Additive Solutions, devenue en 2016 la société AddUp, qui exerce ses activités dans l'impression 3D métallique, et dont je vais parler aujourd'hui. J'ai quitté cette entreprise récemment, ce qui me donne une certaine indépendance dans mon propos, mais également l'obligation de respecter quelques précautions.

Qu'est-ce que la fabrication additive ?

La fabrication classique, désormais dite *soustractive*, consiste, à partir d'un bloc de métal généralement obtenu par fonderie, à enlever de la matière, par fraisage, par tournage ou par perçage, afin de lui donner la forme souhaitée. Elle se heurte à des limitations liées, notamment, à la géométrie des outils utilisés.

La fabrication *additive* a été inventée par des chercheurs français, à Nancy, en 1984. Elle commence par la modélisation en trois dimensions de l'objet à réaliser : celui-ci est décomposé virtuellement en tranches successives, et les coordonnées de chaque point composant ces tranches sont déterminées avec précision. Puis vient la fabrication proprement dite, qui se fait par dépôt de matière couche par couche, en suivant le modèle numérique, jusqu'à l'achèvement de l'objet.

Trois grandes technologies

Il existe trois grandes méthodes de fabrication additive.

La première est la stéréolithographie. Elle consiste à solidifier une résine photosensible sous l'effet d'un rayon laser ultraviolet. On procède couche par couche et on solidifie le film liquide très fin qui a été déposé sur la couche précédente. Cette technique est utilisée uniquement pour les polymères. C'est le procédé historique et il est parfaitement maîtrisé.

La deuxième méthode, le frittage laser sur lit de poudre, consiste à déposer de la poudre métallique très fine (de 15 à 20 microns de diamètre) et à la fusionner, toujours couche par couche, à l'aide d'un laser d'une puissance de quelques centaines de watts. Cette technologie peut également servir dans le domaine des polymères avec un laser moins puissant (quelques dizaines de watts).

La troisième méthode est le dépôt de fil fondu. Elle consiste à extruder un fil d'un diamètre de 0,1 à 3 millimètres à travers une buse chauffée et à le déposer ou à l'entrecroiser pour créer l'objet. Il s'agit généralement d'un fil thermoplastique, mais cette technique peut également être utilisée avec un mélange de polymère et de poudre métallique. Dans ce cas, une fois l'objet réalisé, on le chauffe, d'abord pour éliminer le polymère, puis pour faire fusionner la structure métallique. Au terme de l'opération, on obtient un objet métallique continu. Cette technique d'impression métallique, baptisée *binder jetting* (projection de liant), est en plein essor, car elle est moins coûteuse que la technologie dominante, le frittage laser sur lit de poudre.

Des techniques complexes

On se représente souvent l'impression 3D comme quelque chose de très simple : on pose la machine sur un coin du bureau, on appuie sur un bouton et l'objet sort un quart d'heure plus tard. En réalité, il s'agit de technologies relativement complexes. Une machine de frittage laser sur lit de poudre, par exemple, comprend les éléments suivants : un laser puissant, qui représente une grosse partie du coût total (environ 100 000 euros) ; un système d'optique sophistiqué permettant de dévier le rayon laser pour le déplacer à la surface de l'objet et sur lequel reposent la réactivité et la précision de la machine ; une chambre de fabrication parfaitement étanche et placée sous gaz inerte afin d'éviter l'oxydation des poudres de métal et les risques d'explosion qui peuvent survenir lorsque ces poudres sont mélangées à l'oxygène, sans parler des graves problèmes de santé que leur inhalation peut entraîner ; un système de nivellement des poudres afin d'éviter tout phénomène de vagues ou de grumeaux ; et enfin, une plateforme qui descend progressivement afin de permettre la fabrication des couches successives.

Pourquoi préférer la fabrication additive ?

Le premier grand atout de la fabrication additive est la liberté de conception et de personnalisation qu'elle permet, non seulement pour des objets de mode ou de décoration, mais plus largement pour les objets industriels et leur adaptation aux besoins du client.

La possibilité de réaliser absolument toutes les formes que l'on souhaite, même les plus subtiles, permet aussi d'enrichir la fonctionnalité des pièces fabriquées. C'est le cas, par exemple, pour un injecteur de fioul conçu par General Electric pour le moteur LEAP (*Leading Edge Aviation Propulsion*), auquel la fabrication additive a permis d'apporter des fonctions supplémentaires grâce à sa forme plus complexe et de le rendre ainsi plus performant. Cet injecteur est désormais fabriqué en série. De même, cette technologie a permis d'ajouter des canaux de refroidissement dans les moules industriels et Air Liquide s'en est servi pour accroître le rendement de la fabrication du gaz dans les réacteurs catalyseurs.

Par définition, cette technologie permet également de réduire, voire de supprimer les tâches d'assemblage. Dans le cas de l'injecteur, on est passé de plusieurs dizaines de pièces à une seule.

Un autre de ses avantages est l'économie de matière. Dans l'aéronautique, on estime qu'en fabrication traditionnelle, 90 % d'un bloc de titane part en copeaux. Le ratio *buy to fly* – qui indique le rapport entre la masse de matière achetée pour la fabrication et la masse de la pièce finale – est donc d'1 sur 10. En fabrication additive, on n'utilise que la matière nécessaire pour assurer la tenue de la pièce et répondre aux contraintes auxquelles elle sera soumise. Le ratio *buy to fly* passe pratiquement à 1 pour 1.

De surcroît, l'utilisation parcimonieuse de la matière permet de réduire parfois de moitié la masse des objets. Ce critère est décisif dans l'aéronautique mais devrait bientôt intéresser également le secteur automobile.

La fabrication additive permet aussi de raccourcir la durée des cycles de production, ce qui, dans certains cas, peut jouer un rôle déterminant. L'un de nos clients devait livrer des trains en Amérique du Sud dans le cadre d'un contrat de plusieurs centaines de millions d'euros. À la suite d'un problème chez un fournisseur, il n'avait pas reçu les marteaux permettant de briser les vitres du train en cas d'urgence. Nous avons réalisé ces pièces en impression 3D, ce qui a permis à notre client de respecter son délai de livraison. Le coût de production était plus élevé qu'en fabrication traditionnelle mais, compte tenu de l'enjeu, cela n'avait pas d'importance.

La rapidité de fabrication permet de réduire les stocks, ce qui peut avoir un impact considérable dans l'aéronautique, où les constructeurs sont tenus de conserver les pièces de rechange, avec toutes leurs variantes, pendant trente ans.

Du côté des inconvénients, le principal est le coût encore élevé de ces technologies. De fait, la fabrication additive ne touche pour l'instant que les industries générant des produits à forte valeur ajoutée. Cependant, comme le coût des pièces dépend à la fois de leur complexité et de la taille du lot, en dessous d'une certaine taille de lot et au-delà d'une certaine complexité, il est plus intéressant de recourir à l'impression 3D qu'à la fabrication traditionnelle.

Le marché de l'impression 3D

Le marché de l'impression 3D (plastique et métal) connaît une croissance de 30% par an. Il représente 10 milliards d'euros à l'heure actuelle et ce chiffre devrait doubler d'ici 2020. La part de la fabrication métallique est actuellement de 3 milliards. Ce marché devrait atteindre 5 milliards en 2020 et 10 milliards en 2025.

L'un des premiers domaines d'application est l'aéronautique, mais nous n'en sommes encore qu'aux balbutiements : la plupart des pièces déjà utilisées en vol sont non critiques du point de vue de la navigabilité. Les premières pièces critiques sont en train d'être certifiées, aussi bien chez Airbus que chez Boeing. Dans le domaine médical, l'impression 3D peut permettre de fabriquer des substituts d'os ou différents types de prothèses. Dans ces deux secteurs, la certification représente toutefois un frein important à la pénétration de ces technologies.

Dans l'automobile, l'impression 3D est utilisée essentiellement pour le prototypage ou pour des séries très personnalisées, qu'il s'agisse de véhicules de course, de collection, ou de très haut de gamme. Elle peut servir également pour la fabrication d'outillage à la demande et en boucle courte. L'avenir de l'impression 3D dépendra beaucoup de la capacité à produire en grande série pour ce secteur.

Cette technologie est également très utilisée pour la fabrication des moules et des outils industriels, ainsi que dans le monde de l'énergie, qui requiert des pièces souvent complexes, chères, d'un niveau de qualité et de subtilité exigeant.

Dans le secteur de l'éducation, on s'en sert pour fabriquer toutes sortes de maquettes et d'outils pédagogiques. Enfin, l'impression 3D est utilisée pour la réalisation de produits destinés au grand public, en raison des possibilités de personnalisation qu'elle offre mais également de ses délais de livraison très rapides.

Les défis

La fabrication additive métallique est confrontée à deux grands défis.

Le premier est la réduction des coûts, indispensable si l'on veut toucher des industries de masse comme l'automobile. Cette réduction est difficile à envisager pour le procédé actuellement dominant (le frittage laser sur lit de poudre) en raison du coût du laser et du dispositif mécanique. C'est ce qui a conduit à développer des procédés alternatifs comme le *binder jetting*.

Le deuxième grand défi est la taille des objets fabriqués. Pour le moment, cette technologie ne peut s'appliquer qu'à des objets tenant dans un cube de 70 centimètres de côté. General Electric vient de mettre sur le marché une machine capable de fabriquer des objets d'1 mètre de côté, mais elle n'est pas encore parfaitement au point. Pour des pièces d'une taille supérieure, la seule solution consiste à les produire en plusieurs morceaux que l'on assemble, ce qui n'est pas optimal.

La démarche de Michelin

Dans les années 2000, époque où les technologies d'impression 3D en étaient à leurs balbutiements, des membres de la direction industrielle de Michelin ont pressenti les immenses opportunités qu'elle allait offrir.

La qualité des pneus dépend de la façon dont la surface de la gomme est sculptée. On utilise pour cela des moules métalliques qui sont des objets industriels très complexes, composés de centaines de petites pièces. Les ingénieurs de l'unité dédiée à la fabrication de ces moules ont rapidement compris que la fabrication additive allait leur apporter deux avantages vraiment déterminants : une bien plus grande liberté dans la conception des sculptures et des délais de réalisation beaucoup plus courts. Traditionnellement, la fabrication d'un moule mobilisait plusieurs sous-traitants et durait cinq mois. Avec la fabrication additive, ce délai est tombé à un mois.

Les ingénieurs de Michelin ont d'abord essayé de coopérer avec un fabricant situé dans le Puy-de-Dôme. Le résultat n'ayant pas été concluant et l'entreprise en question ayant été cédée à des Américains, ils ont décidé

de tout faire en interne. Pour cela, ils ont constitué une équipe multidisciplinaire comprenant des scientifiques, des métallurgistes, des spécialistes de l'interaction laser-matière, des techniciens de machines, des experts de l'optimisation des pièces, des programmeurs, etc.

Le résultat est assez spectaculaire : quinze ans plus tard, le groupe Michelin a conçu sa propre machine dans un domaine qui n'a rien à voir avec son cœur de métier, la fabrication additive métallique. Le Groupe possède deux ateliers de vingt machines, situés l'un en France, l'autre aux États-Unis, qui fonctionnent en continu, avec un temps d'ouverture supérieur à 80%. Ces deux ateliers fabriquent, chaque année, un million de petites ailettes placées à l'intérieur du moule et permettant de sculpter le pneu.

Ce nouveau procédé a permis plusieurs innovations, comme le pneu CrossClimate, utilisable aussi bien en hiver qu'en été, ou encore le pneu Premier qui, même usé, reste plus efficace que les pneus neufs des concurrents. Ces derniers ont compris l'avantage que Michelin avait tiré de la fabrication additive et tous sont en train de se lancer dans cette nouvelle technologie.

Un quatrième pilier stratégique

Le groupe Michelin a longtemps été connu pour sa capacité à tout fabriquer en interne et pour sa propension à conserver ses technologies pour lui-même. Il y a quelques années, Jean-Dominique Senard a commencé à faire évoluer cette culture. Aux trois piliers de la stratégie du groupe (le pneu, le service autour du pneu, la mobilité), il a ajouté une quatrième dimension, la valorisation des procédés internes dans des activités économiques.

Parmi les sujets retenus figurait en bonne place la fabrication additive, pour laquelle le Groupe possédait un portefeuille de brevets. Partant du principe que la fabrication de machines n'était pas son cœur de métier, Michelin a décidé de s'associer à un partenaire ayant une meilleure connaissance de cette activité, et son choix s'est porté sur Fives.

Ce vieux groupe industriel français, auquel on doit les tabliers métalliques du pont Alexandre III à Paris, offre aujourd'hui des services d'ingénierie de moyens industriels et peut aussi bien réaliser une ligne de fabrication sur mesure pour l'automobile qu'un entrepôt automatisé pour Amazon. Il ne s'agit pas à proprement parler d'un spécialiste de la fabrication additive, il a été choisi surtout pour son réseau mondial et sa proximité avec les clients industriels. Sur le plan de la taille, Fives est dix fois plus petit que Michelin (2 milliards d'euros de chiffre d'affaires, contre 20 milliards pour Michelin).

La création de Fives Michelin Additive Solutions / AddUp

Une joint-venture a été créée, Fives Michelin Additive Solutions, dont chacun des deux groupes possède la moitié des parts et dans laquelle ont été transférés des salariés des deux entités, ainsi que le portefeuille de brevets de Michelin et quelques machines pour aider au démarrage. Cette joint-venture a donné naissance, le 1^{er} avril 2016, à la société AddUp.

L'ADN industriel des deux actionnaires est assez différent. Fives se consacre essentiellement à la fabrication de machines, alors que Michelin est davantage tourné vers les utilisateurs, avec le souci de permettre à d'autres industriels de suivre un peu le même parcours et de devenir capables de fabriquer des pièces pour leur propre usage. Cette double orientation s'est retrouvée dans la stratégie de la nouvelle société, qui est un peu "attrape-tout", avec à la fois de la fabrication de machines, de la production pour compte de tiers et une offre de services variée.

La première étape a néanmoins été le développement d'une machine destinée à permettre à la nouvelle société d'exister sur le marché. Cette machine s'inspire fortement des technologies de Michelin, mais a été redessinée. La technologie est celle du frittage laser sur lit de poudre, avec une taille maximale des pièces de 35 centimètres de côté. Elle ne présente pas d'innovation majeure par rapport à ce qui existe sur le marché, mais AddUp met en avant de meilleures performances que ses concurrents en termes d'efficacité et de robustesse, ainsi qu'une meilleure protection de l'environnement et des travailleurs – dimension à laquelle Michelin est très attaché –

grâce à des solutions de confinement. Les premiers modèles ont été livrés fin 2017, deux ans après la création de l'entreprise.

La chaîne de valeur

Pour analyser la façon dont la fabrication additive impacte l'industrie et pour en exploiter tous les avantages, il faut prendre en considération l'ensemble de sa chaîne de valeur, qui offre une particularité remarquable : l'industrie de la fabrication additive est à mon sens la première, historiquement, qui permette une continuité numérique depuis la conception jusqu'aux services. Cette chaîne de valeur est en pleine évolution et consolidation.

La partie R&D, qui porte autant sur les machines que sur les matériaux ou les logiciels, est extrêmement dynamique : la fabrication additive génère davantage de brevets que le véhicule hybride ou que la voiture autonome. En 2017, le secteur de l'impression 3D métallique a produit 300 000 brevets, dont la moitié ont été pris aux États-Unis, 30 % en Asie et 15 % en Europe. Ce nombre augmente de 5 % par an. Quant au secteur des poudres métalliques, il se développe à grande vitesse. Jusqu'à présent, on s'est contenté d'utiliser des matériaux déjà existants et de les réduire en poudre, au travers de procédés d'atomisation extrêmement onéreux (certaines poudres coûtent plusieurs centaines d'euros par kilogramme). Pour rendre la technologie économique, il faudrait diviser le prix des poudres par dix. Cette question fait l'objet de nombreuses recherches, de même que la conception de nouveaux matériaux.

La moitié du marché de la fabrication additive concerne les machines, et le reste se répartit entre matériaux et services. Une des clés de la chaîne de valeur est la compétence en métallurgie, indispensable si l'on veut identifier les cas d'usages adaptés à la fabrication additive et optimiser leur production. Or, cette compétence se trouve essentiellement chez les fabricants de machines, ce qui pose d'ailleurs un problème : ceux qui cherchent des conseils en la matière ne peuvent s'adresser qu'à eux, qui sont juges et parties. La part des machines dans le marché de la fabrication additive est cependant en train de diminuer au bénéfice des matériaux et des services.

Le positionnement des différents acteurs

Au stade actuel de développement du marché, les acteurs dominants de la chaîne de valeur sont les fabricants de machines, mais cette situation est appelée à évoluer. Comme il est nécessaire de maîtriser toute la chaîne de valeur pour optimiser les cas d'usage, la stratégie de la plupart des acteurs consiste à "s'étaler" sur cette chaîne, notamment en rachetant les start-up, très nombreuses, qui se développent dans le domaine de la conception et des services, c'est-à-dire des activités demandant le moins de capital.

General Electric, par exemple, a racheté de nombreuses sociétés, aussi bien des fabricants de machines que des producteurs de poudres, des sociétés de R&D ayant des accords avec de grands laboratoires américains, des sociétés de services, etc. Il y a un an, le Groupe a investi un milliard et demi de dollars dans le rachat d'un fabricant de machines et de poudres allemand, Concept Laser, et d'une société suédoise qui maîtrise une technologie particulière, Arcam. Cette valorisation représentait dix fois le chiffre d'affaires des sociétés en question, et General Electric y a ajouté un milliard et demi de dollars en développement interne, pour accélérer leur croissance. Désormais, le seul chaînon qu'il ne maîtrise pas est celui des logiciels. La petite société belge Materialise, une spin-off de l'Université de Louvain, est devenue, dans ce domaine, le passage obligé de tous les fabricants. L'étonnant est que cette entreprise réalise moins de 50 % de son chiffre d'affaires avec le logiciel, son activité principale étant l'impression 3D d'objets à la demande, notamment dans les domaines du médical et des chaussures de sport.

Des entreprises commencent également à s'étaler sur la chaîne de valeur en Asie, que ce soit au Japon ou en Chine, avec là encore une difficulté : pour les grands acteurs incontournables, cela ne pose pas trop de problème de faire concurrence à leurs clients potentiels, mais pour ceux qui sont moins bien établis, cette stratégie n'est pas forcément évidente.

L'écosystème de la fabrication additive est en plein mouvement de recomposition et de concentration, ce qui, naturellement, a suscité beaucoup de discussions entre les deux actionnaires de Fives Michelin Additive Solutions.

La culture Michelin

Un intervenant : *Le groupe Michelin est connu pour sa culture du secret. Le fait qu'il ait accepté de partager ses secrets de fabrication avec d'autres me paraît constituer une petite révolution.*

Int. : *Il y a quelques années déjà, dans ce même séminaire, Didier Miraton nous avait montré comment Michelin avait ouvert sa R&D afin de conserver sa capacité d'innovation¹.*

B. B. : Ce genre de transformation culturelle ne peut se faire que si elle est portée par une volonté très forte au plus haut niveau de l'entreprise et, en l'occurrence, tel était le cas. Cela dit, une entreprise de cette taille peut parfaitement se montrer "schizophrénique", au bon sens du terme, c'est-à-dire s'ouvrir pour les sujets jugés pertinents et conserver les précautions habituelles pour le reste... Le processus dont nous parlons n'a été possible que parce que Michelin, à l'origine, avait décidé de concevoir ses propres machines en interne. Son principal concurrent, Continental, s'appuie au contraire sur un réseau de fournisseurs qui lui apportent les innovations, ce qui conduit à des situations industrielles très différentes.

Le retour sur investissement

Int. : *Peut-on vous demander combien de temps prendra le retour sur investissement de cette joint-venture ?*

B. B. : C'est une question délicate, et aussi un peu biaisée car la nouvelle société a bénéficié des quinze ans de développements menés en interne par Michelin. Si on fait abstraction de cet acquis, le retour sur investissement peut être évalué à cinq ans. Il pourra cependant varier en fonction de la stratégie adoptée : certains secteurs d'investissement sont plus gourmands en capitaux que d'autres.

De son côté, le groupe General Electric a affirmé que ses investissements colossaux vont lui permettre de réaliser, en interne, de tels gains de productivité, que le retour sur investissement sera acquis en cinq ans, sans même parler des marchés externes.

Identifier les marchés potentiels

Int. : *Comment identifiez-vous les marchés potentiels ?*

B. B. : Certains sont déjà connus : l'aéronautique, le médical, les outillages industriels. Pour le moment, AddUp s'est concentrée sur l'aéronautique et les outillages industriels. À l'usage, on s'aperçoit que c'est ce dernier secteur qui offre le plus d'opportunités car, contrairement aux deux autres, il n'est pas soumis à des contraintes réglementaires.

De plus, dans l'aéronautique, en attendant les futurs programmes, on doit se contenter de fabriquer en impression 3D des pièces déjà produites en fabrication traditionnelle, ce qui non seulement empêche de les optimiser mais suppose de payer une deuxième fois pour leur certification. À mon sens, c'est avec la nouvelle vague de grands programmes, attendue pour 2025, que la fabrication additive pourra véritablement se développer dans l'aéronautique.

La fabrication pour compte de tiers

Int. : *Quelle forme prend la fabrication pour compte de tiers chez AddUp ?*

1. Didier Miraton, « Comment Michelin a ouvert son innovation », séminaire Management de l'innovation (anciennement Ressources technologiques et innovation) de l'École de Paris du management du 19 septembre 2012.

B. B. : Il s'agit généralement de preuves de concept ou de toutes petites séries d'essai. Trop souvent, les clients industriels se focalisent sur le choix de la machine à acheter. Or, les différents modèles sont relativement proches et la réflexion devrait plutôt porter sur la façon d'utiliser au mieux la chaîne de valeur, ce qui passe par une analyse approfondie du cas d'usage, en prenant en considération bien d'autres paramètres que le coût de production. Ce processus d'analyse n'aboutira pas forcément à l'achat d'une machine, d'où l'intérêt de la fabrication pour compte de tiers.

La dimension des pièces fabriquées

Int. : *On sait que le développement du véhicule électrique est limité par le problème de la recharge des batteries. Pour la fabrication additive, le facteur limitant risque d'être la dimension des pièces fabriquées. Quelles sont les perspectives en la matière ?*

B. B. : Cela dépend des procédés. Pour le frittage laser sur lit de poudre, celui qui permet la plus grande précision, General Electric vient de présenter un prototype capable de fabriquer des objets d'un mètre de côté mais il sera très difficile d'aller au-delà, en raison non seulement du coût, mais aussi de la complexité et du poids de ces machines.

Le procédé de *binder jetting* devrait a priori permettre de réaliser des pièces de plus grandes dimensions, mais le problème de retrait du matériau lorsqu'on enlève le liant n'est pas encore bien maîtrisé. Parmi les rares sociétés à proposer cette option, la plus connue est Desktop Metal.

Pour le dépôt de fil métallique en fusion, l'un des acteurs majeurs est Sciaky, une société américaine venue de l'univers de la soudure. Le procédé en question s'apparente en effet à de la soudure et pose un problème bien connu dans ce domaine : le risque de déformation thermique sur les pièces de grande taille, qui fait actuellement l'objet de recherches en modélisation macroscopique et microscopique. C'est néanmoins cette technologie qui permettra sans doute d'obtenir le plus rapidement des pièces de grande taille.

Cela dit, les progrès les plus déterminants en la matière passeront vraisemblablement par des ruptures technologiques. On pourrait imaginer, par exemple, de faire le vide non plus sur la totalité de la chambre de fabrication, mais sur une zone isolée, ce qui permettrait de s'affranchir de certaines contraintes mécaniques liées à l'étanchéité. On pourrait également utiliser des bras robotisés qui viendraient déplacer la zone de fabrication au lieu de devoir recourir à des systèmes optiques très complexes.

Maîtriser l'ensemble de la chaîne

Int. : *Que pensez-vous de la stratégie de General Electric ?*

B. B. : Honnêtement, elle est assez impressionnante. Ses dirigeants ont compris que les différentes technologies étaient complémentaires et ils multiplient les acquisitions pour en maîtriser le plus grand nombre possible. Ils ont également compris qu'il était essentiel d'accompagner les clients dans leur courbe d'apprentissage et ils créent un peu partout des projets communs avec des clients utilisateurs. Enfin, ils ont une étonnante capacité de gestion de projets. Après avoir racheté Concept Laser, il leur a fallu moins de six mois pour développer le modèle de cette société allemande, qui était encore embryonnaire, et présenter un prototype à la foire de Francfort.

Int. : *À côté des géants de type General Electric, capables d'acquérir des sociétés sur l'ensemble de la chaîne de valeur, y a-t-il une place pour des acteurs plus petits ? Si oui, quelle est la bonne stratégie pour eux : laisser le client s'occuper de construire son propre "meccano" ou essayer d'établir des relations stables avec des sociétés de l'amont et de l'aval de la chaîne, à défaut de pouvoir les acquérir ?*

B. B. : Je suis convaincu de la nécessité d'une stratégie de coopération qui, du reste, est déjà largement pratiquée. Mais toutes les possibilités d'alliances sont loin d'être exploitées, car, par chance, il existe énormément d'acteurs en Europe.

En ce qui concerne les technologies proprement dites, les institutions de recherche les plus dynamiques ne se trouvent pas dans notre pays, mais en Allemagne, avec les instituts Fraunhofer, et un peu en Belgique et en Suisse.

Même si l'on trouve, en France, toutes les compétences dont on peut avoir besoin, elles sont dispersées entre de multiples laboratoires. Lorsqu'on veut lancer un programme sur de nouvelles technologies, il faut mobiliser d'innombrables partenaires, ce qui est un cauchemar.

Une solution pour faire émerger des innovations de rupture consisterait à monter des projets franco-allemands dans lesquels on pourrait valoriser les "briques" françaises, qui sont d'excellent niveau.

L'évolution du paysage à dix ans

Int. : *Dans dix ans, le paysage sera-t-il radicalement différent d'aujourd'hui? Des acteurs totalement nouveaux peuvent-ils encore apparaître, ou la situation est-elle déjà verrouillée?*

B. B. : Le secteur est en pleine ébullition et il y a très peu de chances que le paysage soit le même dans dix ans. Clairement, tous les acteurs ne survivront pas.

L'une des questions est de savoir si les technologies alternatives, qui permettront de proposer des procédés plus efficaces, en matière de taille ou de productivité, viendront d'acteurs déjà en place ou de nouveaux acteurs.

Plus largement, le développement de la fabrication additive va profondément modifier la chaîne économique, à la fois du côté du client, avec la possibilité de fournir des pièces détachées à la demande, et du côté des fournisseurs, avec l'opportunité pour les industriels de repenser complètement leurs décisions de *make or buy*.

Dans le domaine des moteurs d'avion, par exemple, Safran maîtrise un tiers de la valeur ajoutée et achète les deux autres tiers. Avec l'avènement de la fabrication additive, il peut envisager quatre scénarios : apprendre à fabriquer les pièces les plus critiques lui-même ; demander à des fournisseurs existants de s'en charger ; s'adresser à des fabricants à façon déjà spécialisés dans la fabrication additive ; ou nouer des partenariats avec des fabricants d'équipements afin de partager la valeur ajoutée.

Des effets de relocalisation de l'industrie ?

Int. : *Un des avantages majeurs des vieux pays industriels comme le nôtre résidait dans l'importance des "tours de main", qui ne s'acquerraient qu'au fil de longues années d'expérience. La fabrication additive supprime cet avantage puisque tout le savoir-faire est désormais dans le design. Cela ne constitue-t-il pas un danger pour le maintien de l'industrie dans nos pays, compte tenu des capacités d'investissement démesurées de la Chine ?*

B. B. : Le fait que l'on puisse désormais se passer des tours de main est sans doute vrai pour les polymères, mais beaucoup moins pour le métal. Si l'on veut identifier les bons cas d'emplois de la fabrication additive métallique, optimiser la production et trouver les voies de la certification, il faut disposer d'une véritable expertise en métallurgie. En un sens, le tour de main du contremaître est désormais remplacé par celui de l'ingénieur métallurgiste. Cela dit, il est certain que, tôt ou tard, les Chinois réussiront à maîtriser tous ces savoir-faire, à la fois parce qu'ils y investissent des ressources considérables et parce qu'ils disposent d'un énorme marché intérieur, ce qui constitue également un avantage majeur.

On peut néanmoins voir la question du maintien de l'industrie dans nos pays sous un angle différent. L'un des ressorts du dynamisme américain en matière de fabrication additive est un programme qu'avait lancé le président Barack Obama et dont l'objectif était précisément de reprendre la main sur les industries manufacturières et ainsi de rapatrier des emplois industriels aux États-Unis. Par ailleurs, l'impression 3D permet de livrer les produits en un temps record, ce qui devrait inciter à rapprocher la fabrication du client, qu'il s'agisse de lui fournir des pièces de rechange ou des pièces initiales. Ceci va plutôt dans le sens du rapatriement d'une partie de l'industrie dans les vieux pays comme les États-Unis ou les pays européens.

Pour cela, il faudrait toutefois que l'ensemble du tissu industriel puisse découvrir et comprendre les opportunités offertes par ces nouvelles technologies. Or, la masse du tissu industriel français n'est pas constituée des grands groupes, mais des petites et moyennes entreprises qui, globalement, sont encore assez éloignées de ces sujets.

Int. : *Le problème est que le marché de la fabrication additive reste encore essentiellement un marché de R&D, y compris dans la métallurgie. Le médical pourrait apparaître comme une niche intéressante mais, pour le moment, il est interdit d'implanter dans un corps humain des objets obtenus par fabrication additive. En ce qui concerne*

la fabrication de moules industriels, le coût des investissements représente un risque important pour des entreprises de petite taille : il s'agit non seulement de la machine elle-même (de 800 000 euros à 1 million d'euros), mais également de tout ce qui l'accompagne, aussi bien les compétences à réunir que les outils de post-traitement ou encore la protection des travailleurs.

B. B. : Dans ce domaine également, ce pourrait être un beau projet franco-allemand que de bâtir un réseau de soutien aux PME et ETI en s'appuyant sur les acteurs déjà impliqués comme le CETIM (Centre technique des industries mécaniques). On pourrait imaginer que certains centres, au sein de ce réseau, se spécialisent dans tel ou tel domaine industriel (les moules, les pièces automobiles, etc.), ce qui renforcerait grandement notre attractivité.

■ Présentation de l'orateur ■

Bruno Bernard : ingénieur du Corps des Mines, *Venture Partner* chez btov Partners GmbH, fonds allemand de capital-risque dans le domaine des technologies industrielles 4.0. Après avoir créé et dirigé pendant dix ans les activités du Crédit Lyonnais en Allemagne, il a exercé différentes responsabilités de direction générale dans l'aéronautique, l'ingénierie et l'impression 3D métallique.

Diffusion juillet 2018
